

УДК 548.571;548.4

Г. Г. Майер*, В. А. Москвина

Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН,
г. Томск

*galinazg@yandex.ru,

Научный руководитель — д-р физ.-мат. наук доц. *Е. Г. Астафурова*

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ВАНАДИЕМ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ С ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ АТОМОВ ВНЕДРЕНИЯ ПРИ КРУЧЕНИИ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Методами просвечивающей электронной микроскопии, рентгеноструктурного и рентгенофазового анализа (при измерении микротвердости) изучено влияние легирования ванадием на микроструктуру, фазовый состав и микротвердость аустенитных сталей с высокой концентрацией атомов внедрения Fe-23Cr-19Mn-0,2C-0,5N (мас. %) и Fe-18Cr-23Mn-2,6V-0,3C-0,8N (мас. %) после кручения под высоким давлением на разные степени деформации.

Ключевые слова: аустенитная сталь, азот, углерод, ванадий, кручение под высоким давлением, двойникование, дефекты упаковки, микротвердость.

G. G. Maier, V. A. Moskvina

THE EFFECT OF VANADIUM-ALLOYING ON MICROSTRUCTURE AND MICROHARDNESS OF AUSTENITIC HIGH-INTERSTITIAL STEELS IN HIGH-PRESSURE TORSION

The effect of vanadium alloying on the microstructure, phase composition and microhardness of austenitic steels with a high concentration interstitials Fe-23Cr-19Mn-0,2C-0,5N (wt. %) and Fe-18Cr-23Mn-2,6V-0,3C-0,8N (wt. %) under high-pressure torsion to various strain was studied using transmission electron microscopy, X-ray structural and phase analysis and by measuring microhardness.

Key words: austenitic steel, nitrogen, carbon, vanadium, high-pressure torsion, twinning, stacking faults, microhardness.

В работе изучено влияние легирования ванадием на микроструктуру, фазовый состав и микротвердость аустенитных сталей с высокой концентрацией атомов внедрения Fe-23Cr-19Mn-0,2C-0,5N (мас. %) (0V-сталь) и Fe-18Cr-23Mn-2,6V-0,3C-0,8N (мас. %) (2,6V-сталь) после кручения под высоким давлением (КВД) на разные степени деформации. В исходном состоянии после закалки при $T = 1200^\circ\text{C}$, 1 ч в структуре сталей наблюдали преимущественно аустенит с небольшой долей δ -фазы ($\approx 4\%$). Легированная ванадием сталь также содержала карбонитриды хрома и ванадия (V, Cr) (N, C). Параметр решетки исходной аустенитной фазы составлял после закалки 0,3635 нм для 0V-стали и 0,3626 нм для 2,6V-стали, что свидетельствовало о высокой концентрации атомов внедрения в твердом растворе. КВД стальных дисков осуществляли при комнатной температуре и давлении 6 ГПа на $N = 0$ (осадка), $N = 1/4$, $N = 1/2$ и $N = 1$ оборот.

КВД сталей вызывает уменьшение интенсивности, уширение и смещение рентгеновских линий, характер рентгенограмм указывает на формирование разориентированной поликристаллической структуры в образцах. После КВД ($N = 1$) плотность дислокаций в структуре сталей возрастала от $\rho = (0,10-0,15) \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$ (закаленные состояния) до $\rho = 53 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$ в 0V-стали и до $\rho = 24 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$ в 2,6V-стали. Смещение рентгеновских линий после КВД указывало на рост концентрации дефектов упаковки (КДУ) (до 10 % в 0V-стали и до 7 % в 2,6V-стали) и остаточных напряжений (от 80 МПа в исходных состояниях до 1000 МПа после одного оборота КВД) в структуре сталей при увеличении степени деформации.

КВД сталей сопровождается фрагментацией микроструктуры сталей за счет накопления высокой плотности дислокаций скольжения, деформационных двойников и полос локализации деформации. Независимо от состава стали механическое двойникование развивается активно после деформации осадкой ($N = 0$). В 0V-стали после КВД на $N = 0$ наблюдали плотную двойниковую сетку, которая сохранялась до деформации на один оборот и препятствовало формированию разориентированной субзеренной структуры в образцах. Легирование ванадием привело к снижению КДУ, уменьшению активности механического двойникования и усилению склонности стали к локализации

пластического течения. В 2,6V-стали формирование разориентированной субзеренной микроструктуры происходит при меньшей степени деформации в сравнении с 0V-сталью. Азимутальное размытие рефлексов на микродифракционной картине наблюдали после КВД при $N = 1/4$ для 2,6V-стали и $N = 1/2$ для 0V-стали.

Деформация КВД сталей приводит к повышению значений микротвердости (H_{μ}) образцов по сравнению с исходными состояниями. После КВД наблюдали различную кинетику роста H_{μ} исследуемых сталей при увеличении степени деформации. В 2,6V-стали наибольшие значения H_{μ} достигали после $N = 1/4$ (6,5 ГПа), а для 0V-стали — после $N = 1/2$ (6,0 ГПа). Различный уровень H_{μ} в исследуемых сталях обусловлен различиями в механизмах их деформационного упрочнения, твердорастворного упрочнения и дисперсионного твердения.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Президента РФ (МК-2086.2019.8) на 2019–2020 гг.